

# MoDTC 油中における Al 合金を用いたトライボシステムのなじみ制御

## Running-in control in tribological system with Al-ally in MoDTC oil

東北大・工（正）\*足立 幸志 東北大・工（院）伊原 健人

Koshi Adachi, Kento Ihara

Tohoku University

### 1. はじめに

様々な機械システムにおいて温室効果ガス排出抑制のための摩擦低減は、近年の重要命題であり、流体を用いた潤滑システムにおいては、粘性抵抗の低減目的のための潤滑剤の低粘度化は最優先の対策となる。その際、従来の潤滑状態よりも接触状態が厳しくなるという問題の顕在化が指摘される場所であるが、「低摩擦を発現する境界膜の形成」の視点から考えれば、より厳しい接触条件は「摩擦化学反応の場」としては好ましいともいえる。

本報では、自動車エンジン内の重要なしゅう動部であるピストン/ボア及び主軸受を対象に、MoDTC 油中における Al 合金を用いたトライボシステムを取り上げ、より厳しい接触を利用した境界潤滑膜形成を誘起するためのなじみとそのための制御技術としての表面テクスチャと表面処理に関する最近の話題を紹介する。

### 2. ピストン/ボア系を対象とした Al 合金を用いた

#### 摩擦システムにおける境界膜形成<sup>1, 2)</sup>

ピコ秒レーザを照射することにより形成した深さ 10~15 $\mu\text{m}$  の凹部と 高さ 2~3 $\mu\text{m}$  の凸部を有するアルミ合金(AC8A) (Fig. 1) と 鋳鉄(FC250)のエンジン油中の摩擦特性を機械加工により施した条痕テクスチャ (深さ 10~15 $\mu\text{m}$ ) の場合とともに Fig. 2 に示す。機械加工で施した条痕テクスチャでは、初期から摩擦低減がみられないのに対し、Fig. 1 に示すレーザ加工を施した表面テクスチャアルミ合金を用いることにより急激な摩擦低下の後 0.06 程度の安定した低い摩擦係数を発現する。この時のディスク表面の SEM 像及び摩擦低下過程におけるディスク上の硫黄の存在分布の変化を Fig. 3 に示す。表面テクスチャによる摩擦の減少は、エンジン油中の摩擦調整剤である MoDTC が分解した潤滑膜 ( $\text{MoS}_2$ ) が、初期表面の凸部における摩擦に伴い形成されることにより実現することがわかる。さらに凸部の高さを変化させた際の摩擦特性 (Fig. 4) を考慮すると、表面テクスチャの凸部における摩擦材料と添加剤とのトライボ化学反応により形成される境界膜が低摩擦発現の鍵であることがわかる。本結果は、トライボ化学反応を誘起するための高接触圧力場形成としての表面テクスチャの有効性を示す一例である。

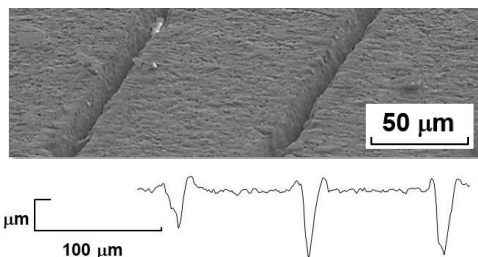


Fig. 1 SEM image and surface profile of surface textured aluminum alloy (AC8A) disk.

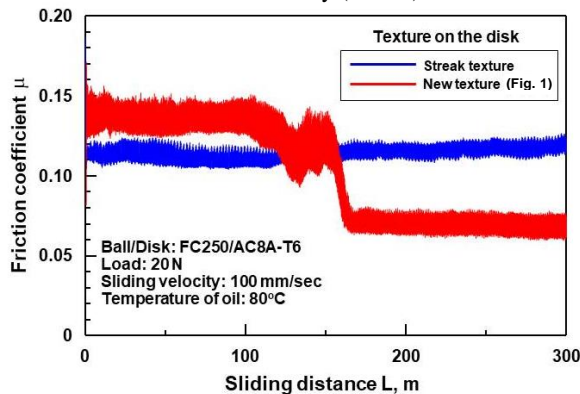


Fig. 2 Friction properties of cast iron sliding against textured aluminum alloy (AC8A) in engine oil.

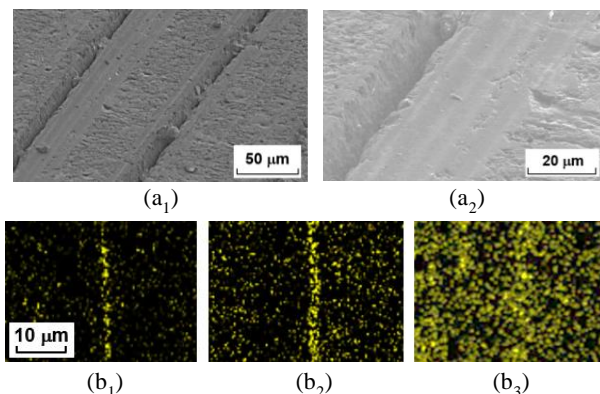


Fig. 3 (a<sub>1</sub>), (a<sub>2</sub>) SEM images and (b<sub>1</sub>)-(b<sub>3</sub>) change of distribution of Sulfur on the wear scar of the surface textured disk.

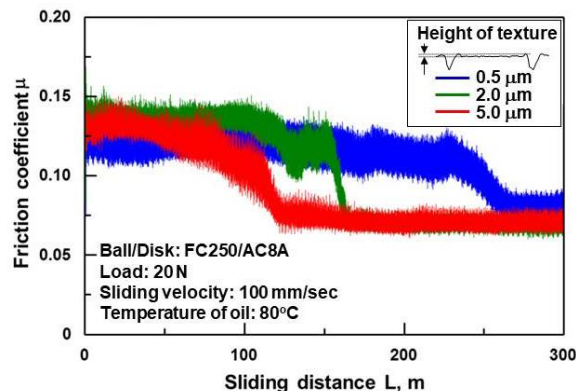


Fig. 4 Effect of height of texture on friction properties of cast iron sliding against textured aluminum alloy disk in engine oil.

### 3. エンジンの主軸受系を対象とした Al 合金を用いた

#### 摩擦システムにおける境界膜形成<sup>3-6)</sup>

同心円状にピコ秒レーザを照射することにより形成したアルミ合金(SA162)の SEM 像及び表面形状の一例を Fig. 5 に示す。AC8A と同様、レーザ照射により 10~15 $\mu\text{m}$  の凹部と高さ数 $\mu\text{m}$  の凸部を有する表面が形成されることがわかる。ここで 3 種類のエネルギー密度のレーザ照射を施したアルミ合金(SA162)と軸受鋼(SUJ2)のエンジン油中での摩擦特性を Fig. 6 に示す。最もエネルギー密度の低いレーザ照射条件を施した場合、摩擦に大きな変動は発生しない。一方、エネルギー密度を増加させレーザ照射を施した表面では、摩擦に伴いエンジン油中の摩擦調整剤である MoDTC が分解した潤滑膜 (MoS<sub>2</sub>) が形成され摩擦が減少するなじみが発生することがわかる。さらに最もエネルギー密度の高いレーザ照射を施した場合では、摩擦開始直後より、摩擦が減少するなじみが発現し、その後さらに摩擦が低減する結果として摩擦係数 0.05 程度の低摩擦を示すことがわかる。ここで、摩擦過程において摩擦が減少するなじみがみられない形態を Mode I、一定の期間を経てなじみが発現する摩擦の形態を Mode II、摩擦初期からなじみが発現する形態を Mode III と定義すると、それらの摩擦形態の発生条件は、照射するレーザの平均エネルギー密度により Fig. 7 に整理される。摩擦形態が遷移するレーザ照射を行う際の平均エネルギー密度の存在が明らかにされており、摩擦により境界膜を形成するための必要条件を科学的に追及することが可能であることを明示している。また、なじみが発生し、低摩擦が発現している時のディスク摩耗痕の断面形状 (Fig. 8) は、初期表面の凹凸にはかかわらず、接触面全体が摩耗しており、Fig. 3 にみられるような凸部における化学反応の促進ではなく、摩耗痕全体における摩擦化学反応が境界膜形成に寄与するといえる。すなわち、表面テクスチャの加工時に生じる材料の変化に起因したトライボ化学反応により形成される境界膜が低摩擦発現の鍵を握る。本結果は、トライボ化学反応を誘起するための材料改質としてのレーザ表面処理の有効性を示す一例である。

#### 4. おわりに

MoDTC 油中におけるアルミ合金を用いた摩擦システムにおいては、アルミの相手材への移着を抑制しつつ、摩擦両表面に潤滑を担う MoS<sub>2</sub> を主とする境界膜を形成させるためのトライボ化学反応の誘起と促進が肝要である。

アルミ合金表面へのレーザ照射により形成される表面テクスチャは、幾何形状とともに材料の改質によるトライボ化学反応の制御を可能にする技術であり境界潤滑条件下における摩擦制御の鍵を握る。飛躍的に進歩した表面テクスチャの形成技術によるトライボ化学反応の制御は、潤滑油の低粘度化が進み、従来以上に接触状態が厳しくなる今後において、境界潤滑のさらなる高機能発現の鍵を握ると信ぜられる。

#### 文献

- 1) Tago・Suzuki・Adachi: World Tribology Congress 2017 (2017).
- 2) 足立・田子・伊原・山本: トライボロジー会議 2018 春東京予稿集, (2018) 198-199.
- 3) 伊原・田子・山本・足立: トライボロジー会議 2018 秋 伊勢 予稿集 (2018) E18.
- 4) 伊原・足立: トライボロジー会議 2020 秋 別府 予稿集 (2020) 578-579.
- 5) 伊原・足立: トライボロジー会議 2021 春 東京 予稿集 (2021) 307-308.
- 6) 伊原・足立: トライボロジー会議 2021 秋 松江 予稿集 (2021) E23.

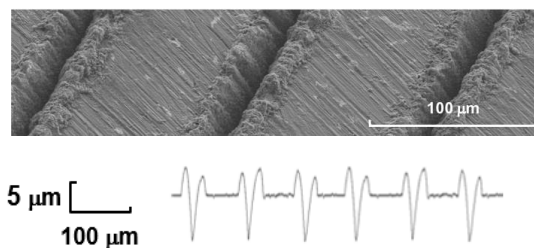


Fig. 5 SEM image and surface profile of surface textured aluminum alloy (SA162) disk.

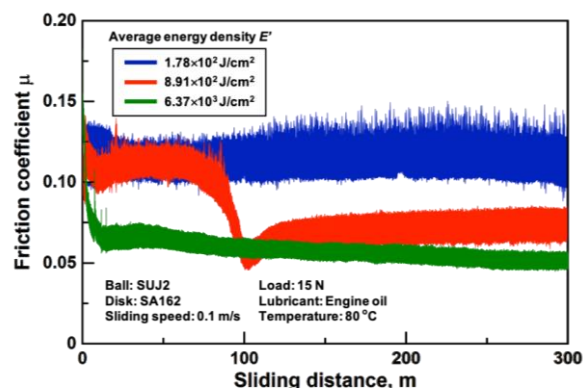


Fig. 6 Friction properties of bearing steel ball sliding against the textured aluminum alloy (SA162) disk in engine oil.

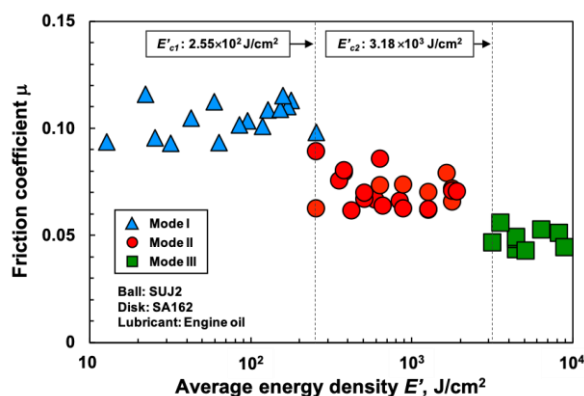


Fig. 7 Effect of average energy density induced by laser-irradiation to the disk on friction Mode of bearing steel sliding against textured aluminum alloy disk (SA162) in engine oil.



Fig. 8 Surface profile of wear scar of the textured aluminum alloy disk (SA162) when low friction generates.